

# OpenTSN3.0 树型拓扑组网演示系统

## 使用手册

(版本 1.1)

OpenTSN

OpenTSN 开源项目组

2021 年 6 月

## 版本历史

| 版本  | 修订时间   | 修订内容                              | 修订人 | 文件标识       |
|-----|--------|-----------------------------------|-----|------------|
| 1.0 | 2021.5 | 初版编制                              |     | OpenTSN3.0 |
| 1.1 | 2021.6 | 1. 增加集中式控制器与测试仪<br>控制器软件环境的安装配置步骤 |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |
|     |        |                                   |     |            |

## 目录

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 1. 概述.....                         | 5  |
| 2. 组网环境组成.....                     | 5  |
| 2.1. TSN 组网环境拓扑 .....              | 5  |
| 2.2. 组网设备配置 .....                  | 6  |
| 2.3. 组网主要板卡说明.....                 | 7  |
| 2.3.1. 硬件板卡 .....                  | 7  |
| 2.3.2. TSN 测试仪 .....               | 8  |
| 2.4 集中控制器软件 TSNLight3.0 使用说明 ..... | 9  |
| 2.5 TSN 测试仪控制器软件说明.....            | 11 |
| 3. 硬件逻辑代码固化 .....                  | 11 |
| 4. 演示案例 .....                      | 12 |
| 4.1. 时间同步精度测试.....                 | 13 |
| 4.1.1.预期结果.....                    | 13 |
| 4.1.2.参数配置.....                    | 13 |
| 4.1.3.操作步骤.....                    | 15 |
| 4.1.4.测试结果.....                    | 15 |
| 4.2. 时间敏感流量的确定性传输测试 .....          | 16 |
| 4.2.1.预期结果.....                    | 16 |
| 4.2.2.参数配置.....                    | 16 |
| 4.2.3.操作步骤.....                    | 18 |
| 4.2.4.测试结果.....                    | 19 |
| 4.3. 摄像头视频流量点到多点的传输测试.....         | 19 |
| 4.3.1.预期结果.....                    | 19 |
| 4.3.2.参数配置.....                    | 19 |
| 4.3.3.操作步骤.....                    | 20 |
| 4.3.4.测试结果.....                    | 21 |
| 4.4. VLC 视频流量多点到点的传输测试 .....       | 21 |
| 4.4.1.预期结果.....                    | 21 |

|                      |    |
|----------------------|----|
| 4.4.2.参数配置.....      | 21 |
| 4.4.3.操作步骤.....      | 22 |
| 4.4.4.测试结果.....      | 23 |
| 附录 A: 软件运行环境搭建 ..... | 24 |

OpenTSN

## 1. 概述

为简化硬件逻辑的复杂度和增强功能可扩展性，将 OpenTSN2.0（即可作为端，又可作为交换）逻辑拆分为 TSN 交换机和 TSN 网卡两个独立的硬件逻辑，本文通过简单树型组网测试来演示 TSN 网卡和 TSN 交换机逻辑功能的准确性。

## 2. 组网环境组成

### 2.1. TSN 组网环境拓扑

2 个 TSN 交换机和 3 个 TSN 网卡搭建如图 1 所示的演示环境拓扑，实线均为网线连接，图中箭头指向即为信号流向。图中包含三个流量测试通路，分别是 vlc 流量通路、摄像头实时监控视频流量通路以及混合流量通路。

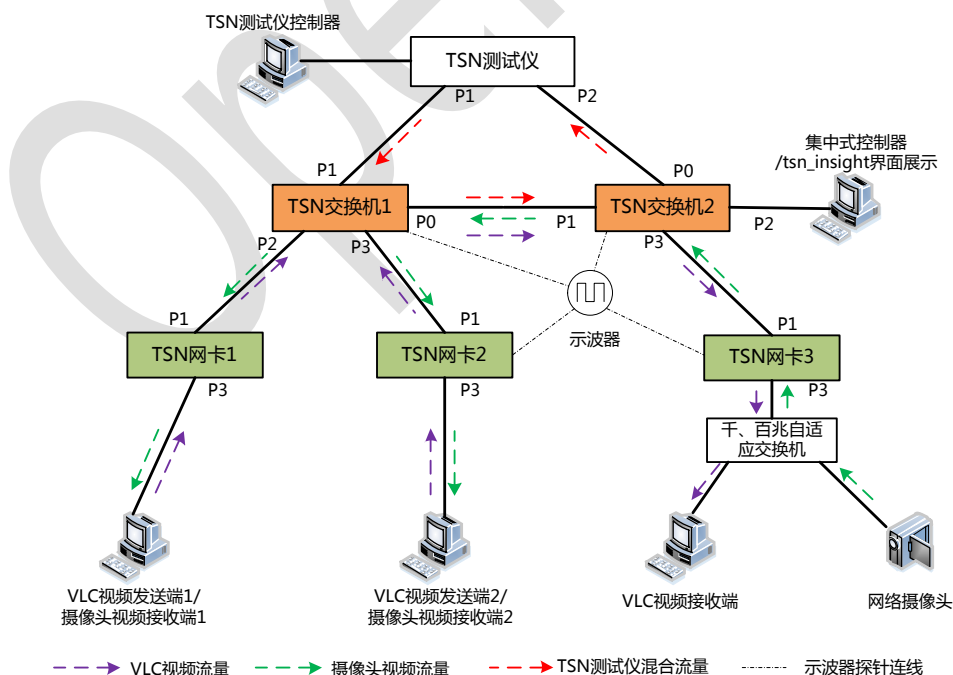


图 2-1. 测试环境拓扑图

## 2.2. 组网设备配置

组网中各设备的信息如下**错误!未找到引用源。**所示。

表 2-1 设备配置

| 序号 | 设备名称                   | 配置信息   | 备注  |
|----|------------------------|--|---|
| 1  | TSN 交换机                | 2 个，搭载了 OpenTSN3.0 的交换机逻辑  | 用于 TSN 网络中流量的交换                             |
| 2  | TSN 网卡                 | 3 个，搭载了 OpenTSN3.0 的网卡逻辑   | 用于 TSN 网络中流量的映射、重映射、提交、注入等                  |
| 3  | VLC 流量发送端 1/摄像头视频接收端 1 | 1) 经网卡 1 连接在 TSN 交换机 1 的 P2 口；<br>2) 安装 VLC 播放软件以及摄像头视频流量接收客户端；<br>3) IP:192.168.1.62<br>4) MAC:C0 04 80 00 00 00。 | 用于 VLC 流量和摄像头视频流量的测试， <b>组网测试使用时需把防火墙关闭</b> |
| 4  | VLC 流量发送端 2/摄像头视频接收端   | 1) 经网卡 2 连接在 TSN 交换机 1 的 P3 口；<br>2) 安装 VLC 播放软件以及摄像头视频流量接收客户端；<br>3) IP:192.168.1.68<br>4) MAC:C0 04 80 00 00 00。 | 用于 VLC 流量和摄像头视频流量的测试， <b>组网测试使用时需把防火墙关闭</b> |
| 5  | 网络摄像头                  | 1) 经网卡 3 连接在 TSN 交换机 2 的 P3 口；<br>2) IP:192.168.1.64<br>3) MAC:BC BA C2 F3 F7 08。                                  | 用于摄像头视频流量的发送                                |
| 6  | VLC 流量接收端              | 1) 经网卡 3 连接在 TSN 交换机 2 的 P4 口；<br>2) 安装 VLC 播放软件；<br>3) IP:192.168.1.66；<br>4) MAC:E8 6A 64 C4 96 FF。              | 用于接收 VLC 流量， <b>组网测试使用时需把防火墙关闭</b>          |
| 7  | 集中控制器                  | 1) 直连在 TSN 交换机 2 的 P2 口；<br>2) ubuntu 操作系统或安装虚拟机的操作系统；<br>3) 包含可执行 CNC 集中式控制器软件。                                   | 用于网络配置、全网时间同步等                              |
| 8  | TSN 测试仪控制器             | 1) 控制终端 ip: 与 192.168.1.1 同网段；<br>2) 虚拟机 ubuntu；   | 用于控制 TSN 测试仪发送流量的内容、速率等                     |

| 序号 | 设备名称    | 配置信息   | 备注                              |
|----|---------|--|---------------------------------|
|    |         | 3) 虚拟机 ip 地址配置为：<br>192.168.1.30。  |                                 |
| 9  | TSN 测试仪 | 1) ST/RC/BE 流的发送与接收；<br>2) 包含可执行的 TSN 测试仪软件；<br>3) 与 TSN 测试仪控制器连接要经过交换机。 | 用于 ST、RC、BE、流量的发送及接收，并统计时延抖动等信息 |

## 2.3. 组网主要板卡说明

### 2.3.1. 硬件板卡

板卡的实物如下图 2-2 和图 2-3 所示，板卡尺寸为：100mm\* 80mm。

板卡内部根据固化的逻辑代码不同，实现的功能也不同。

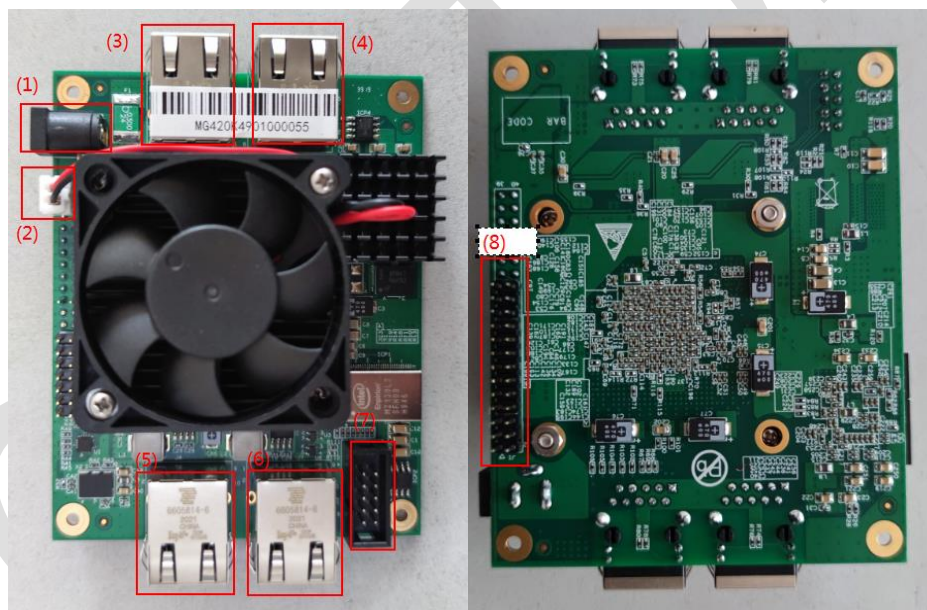


图 2-2 板卡-正面和背面



图 2-3 板卡-侧面

图 2-2 与图 2-3 中标注 (1)-(8)的接口，说明如表 2-2。

表 2-2 接口说明

| 编号 | 接口说明                                      |
|----|---|
| 1  | 12V 电源插座。注意此插座不能与底板上面的 12V 插座同时插上。        |
| 2  | 12V 风扇插座，有防呆设计。                           |
| 3  | 千兆电口 3                                    |
| 4  | 千兆电口 2                                    |
| 5  | 千兆电口 0                                    |
| 6  | 千兆电口 1                                    |
| 7  | JTAG 插座，有防呆设计。可用于 JTAG 边扫调试及 AS Flash 烧录。 |
| 8  | 2.54mm 网格插针                               |

### 2.3.2. TSN 测试仪

如下**错误!未找到引用源。**所示，测试仪正面有 4 个数据网口(0、1、2、3)、1 个管理网口 (MGMT)、1 个复位按钮 (RST) 以及 4 个 led 灯, 根据 TF 卡内存放的软件达到相应的功能, 其中 1 口为发送端, 2 口为接收端。



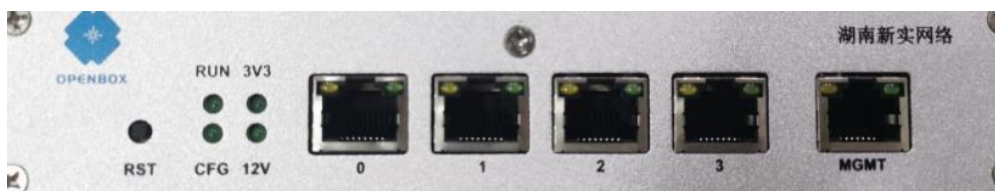


图 2-4 NIC 测试仪正面

测试仪背面有 JTAG 接口、USB 接口、COM 串口、开关和电源接口。



图 2-5 TSN 测试仪背面

## 2.4 集中控制器软件 TSNLight3.0 使用说明

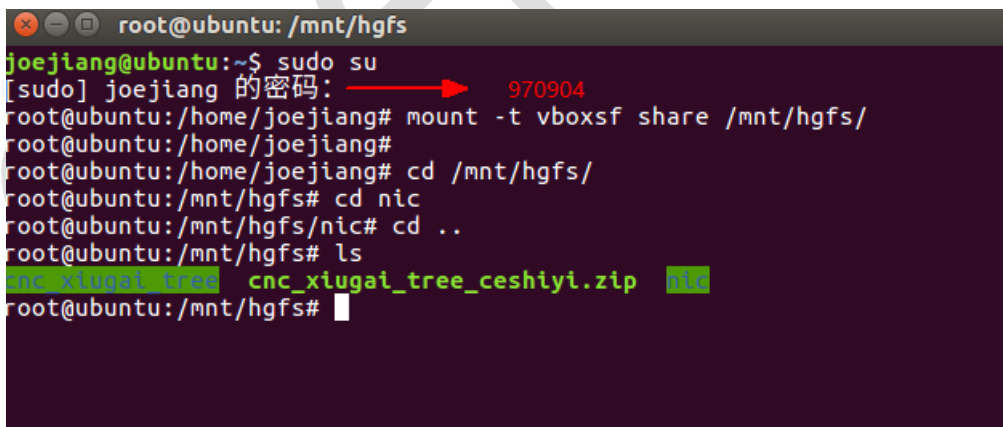
集中控制器包含的源文件如图 2-6 所示，arp\_proxy 目录下存放 arp 代理应用的文件、basic\_cfg 目录下存放基础配置应用的文件、cnc\_api 目录下存放的是通用库文件、local\_cfg 目录下存放的是本地配置文件、net\_init 目录下存放的是网络初始化文件、ptp 目录下存放的是时间同步应用文件、remote\_cfg 目录下存放的远程配置文件，state\_monitor 目录下存放的是网络在运行状态实现的应用的文件。main.c 文件为程序的主函数，makefile 为编译时需要的文件，tsnlight 为编译后生成的可执行文件。

| 名称            | 修改日期             | 类型  |
|---------------|------------------|-----|
| arp           | 2020/12/19 星期... | 文件夹 |
| cnc_api       | 2020/12/19 星期... | 文件夹 |
| cnc_ptp       | 2020/12/22 星期... | 文件夹 |
| net_init      | 2020/12/19 星期... | 文件夹 |
| state_monitor | 2020/12/19 星期... | 文件夹 |

图 2-6 集中控制软件目录

集中式控制器运行环境，以虚拟机的运行方式安装为例，主要需要注意以下几个步骤：

- 1) 安装好 virtualbox 后，导入虚拟机 “OpenBox-S4 交叉编译环境”，然后点击虚拟机设置；
- 2) 在 “存储” 界面上，添加一个留空的虚拟光驱；
- 3) 在 “网络” 界面上，连接方式改为桥接网卡，界面名称选定正在使用的网卡，将高级里面的混杂模式修改为 “全部允许”；
- 4) 在 “共享文件夹” 界面上，建立一个存放控制软件的共享文件夹，然后进入虚拟机（密码 970904）；
- 5) 进入后点击 “设备-安装增强功能”，根据提示完成安装，至此，集中式控制器运行环境完成配置；
- 6) 在虚拟机中打开终端，获取 root 权限后，用命令 “mount -t vboxsf (共享文件夹名) /mnt/hgfs” 挂载共享文件夹；



```
root@ubuntu: /mnt/hgfs
joejiang@ubuntu:~$ sudo su
[sudo] joejiang 的密码: 970904
root@ubuntu:/home/joejiang# mount -t vboxsf share /mnt/hgfs/
root@ubuntu:/home/joejiang# cd /mnt/hgfs/
root@ubuntu:/mnt/hgfs# cd nic
root@ubuntu:/mnt/hgfs/nic# cd ..
root@ubuntu:/mnt/hgfs# ls
cnc_xiugai_tree  cnc_xiugai_tree_ceshiyi.zip  nic
root@ubuntu:/mnt/hgfs#
```

图 2-7 基本运行截图

- 7) 然后就可以根据路径就可以运行相关运用，如下图运行 ptp 同步应用，其中 enp0s17 是设备的网络接口号，可用命令 ifconfig 来获取。

```

root@ubuntu: /mnt/hgfs/cnc_xiugai_tree/cnc_ptp
root@ubuntu:/mnt/hgfs# cd cnc_xiugai_tree
root@ubuntu:/mnt/hgfs/cnc_xiugai_tree# ls
arp      cnc_ptp      net_init     sched_yanshi  xml_test
cnc_api  cnc_ptp32.zip  readme.txt   state_monitor
cnc_ctl  libxml2-2.6.2  sched        test
root@ubuntu:/mnt/hgfs/cnc_xiugai_tree# cd cnc_P
bash: cd: cnc_P: 没有那个文件或目录
root@ubuntu:/mnt/hgfs/cnc_xiugai_tree# cd cnc_ptp
root@ubuntu:/mnt/hgfs/cnc_xiugai_tree/cnc_ptp#
root@ubuntu:/mnt/hgfs/cnc_xiugai_tree/cnc_ptp# ls
cnc_ptp  libptp  libptpl.a  main.c  makefile  offset.txt
root@ubuntu:/mnt/hgfs/cnc_xiugai_tree/cnc_ptp# ./cnc_ptp enp0s17
ok!
ok!
CNC-API-INFO: net_interface:enp0s17
CNC-API-INFO: rule:ether[3:1]=0x05 and ether[12:2]=0xff01
ok!
CNC-API-INFO: net_interface = enp0s17
ok!
ok!
^C
root@ubuntu:/mnt/hgfs/cnc_xiugai_tree/cnc_ptp#
root@ubuntu:/mnt/hgfs/cnc_xiugai_tree/cnc_ptp#

```

图 2-8 运行 ptp 应用示例

## 2.5 TSN 测试仪控制器软件说明

TSN 测试仪控制器软件目前只提供编译后生成的可执行文件和必须的文本文件，其中可执行文件为 tester\_ui。在运行时执行“./tester\_ui”即可出现配置界面。

## 3. 硬件逻辑代码固化

TSN 工程固化逻辑代码的具体操作步骤如下：

- 1) 建立好工程并编译完成后，生产固化文件，如图 3-1。
- 2) 点击 tools->programmer->add files，添加编译完成的.jic 文件（固化 TSN 网卡逻辑选择 nic\_output\_file.jic 文件，固化 TSN 交换机逻辑选择 TSSwitch\_output\_file.jic 文件）。
- 3) 选择烧录线的 USB 串口，并选择 JTAG 模式烧录，点击 start 开始烧录 TSN 工程。如下错误!未找到引用源。所示。

| 名称                       | 修改日期           | 类型     |
|--------------------------|----------------|--------|
| nic_output_file.jic      | 2021/2/3 19:55 | JIC 文件 |
| TSSwitch_output_file.jic | 2021/2/6 9:00  | JIC 文件 |

TSN网卡

TSN交换机

图 3-1 jic 文件

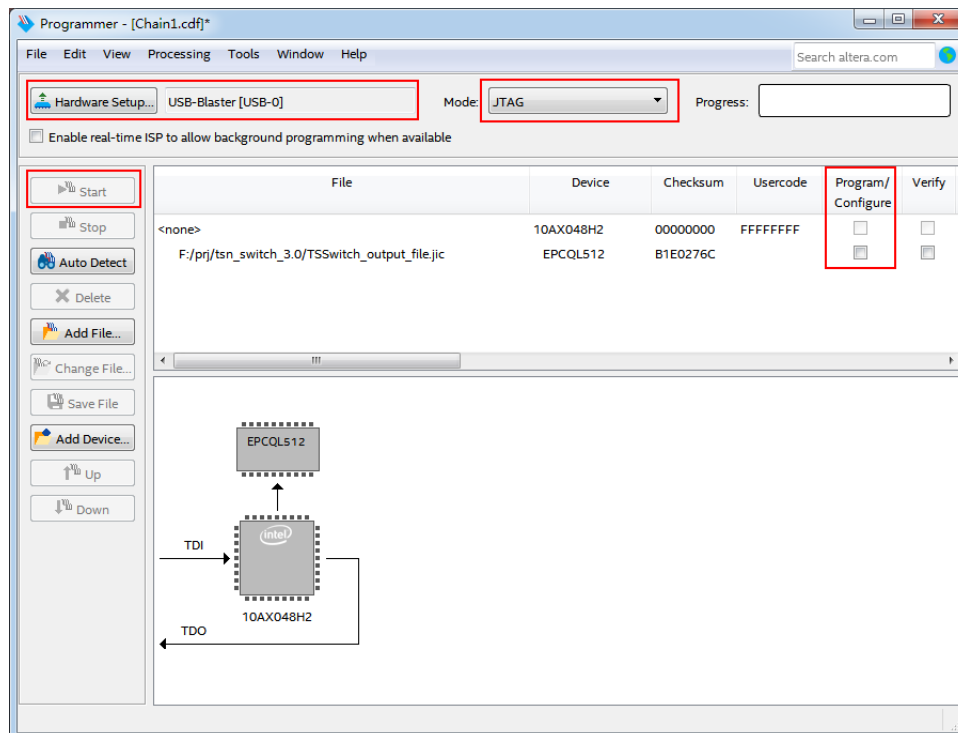


图 3-2 固化逻辑代码

## 4. 演示案例

按照图 4-1 测试场景搭建好 TSN 组网拓扑环境，按照图 9 中配置的表项进行交换机和网卡的初始配置，“imac=2”、“3”配置的是 TSN 交换机 2，其余“imac=4”、“5”、“6”配置的均为网卡。

```

1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2 <nodes sync_period="100" master_imac="0" sync_flowid="4096">
3 <!-- sync_period表示时间同步周期，单位为ms，master_imac表示主设备的imac地址，sync_flowid表示组播的flowid -->
4
5 <node imac="2" port_mode="0"> <!-- port_mode使用bitmap的形式，0代表协作模式，只接收映射过的报文，1代表非协作模式，可以接收所有报文 -->
6 <entry flowid="0" output="4"/> <!-- output使用bitmap形式，1表示向该端口转发，0表示不向该端口转发，如果多个位为1，则向多个端口转发 -->
7 <entry flowid="1" output="1"/> <!-- 交换机下发的配置报文经0号口转发至网卡 --> <!-- 配置报文的flowid与imac值保持一致 -->
8 <entry flowid="2" output="256"/> <!-- 交换机的配置报文转发 -->
9 <entry flowid="3" output="128"/> <!-- 交换机下发的配置报文经7号口转发至网卡 -->
10 <entry flowid="4" output="8"/> <!-- 交换机下发的配置报文经3号口转发至网卡 -->
11 <entry flowid="5" output="16"/> <!-- 交换机下发的配置报文经4号口转发至网卡 -->
12 <entry flowid="6" output="32"/> <!-- 交换机下发的配置报文经5号口转发至网卡 -->
13 <entry flowid="7" output="64"/> <!-- 交换机下发的配置报文经6号口转发至网卡 -->
14 </node>
15
16 <node imac="1" port_mode="240"> <!-- port_mode使用bitmap的形式，0代表协作模式，只接收映射过的报文，1代表非协作模式，可以接收所有报文 -->
17 </node>
18
19 <node imac="3" port_mode="240"> <!-- port_mode使用bitmap的形式，0代表协作模式，只接收映射过的报文，1代表非协作模式，可以接收所有报文 -->
20 </node>
21
22 <node imac="4" port_mode="240"> <!-- port_mode使用bitmap的形式，0代表协作模式，只接收映射过的报文，1代表非协作模式，可以接收所有报文 -->
23 </node>
24
25 <node imac="5" port_mode="240"> <!-- port_mode使用bitmap的形式，0代表协作模式，只接收映射过的报文，1代表非协作模式，可以接收所有报文 -->
26 </node>
27
28 <node imac="6" port_mode="240"> <!-- port_mode使用bitmap的形式，0代表协作模式，只接收映射过的报文，1代表非协作模式，可以接收所有报文 -->
29 </node>
30
31 <node imac="7" port_mode="240"> <!-- port_mode使用bitmap的形式，0代表协作模式，只接收映射过的报文，1代表非协作模式，可以接收所有报文 -->
32 </node>
33 </nodes>
34
35

```

图 4-1 组网的初始配置

## 4.1. 时间同步精度测试

### 4.1.1. 预期结果

以 TSN 交换机 2 为主时钟节点，TSN 交换机 1、TSN 网卡 1/2/3 作为从时钟节点的树型拓扑，进行时间同步精度测试，测试过程中记录并打印 4 个从节点的 offset 值。在运行时间同步进程后，在集中控制器的终端界面上会将同步节点实时上报的同步信息参数 offset 值显示打印，并且 offset 参数值应保持在在 100ns 以内。

### 4.1.2. 参数配置

时间同步精度测试的关键表项配置在于时间同步报文的转发配置，集中式控制器下发的 sync 报文 flowid 为 4096，TSN 交换机 2 中输出端口配置的值 10，代表向网口 1、3 送到各个节点；TSN 交换机 1 中输出端口配置的值 268，代表向网口 2、3 送到各个节点；flowid

为 0 的报文是时间同步响应报文，各个节点的响应报文经 2 号网口输送给集中控制器，交换机和网卡其余配置详见表 4-1。

表 4-1 时间同步精度测试配置表项

| TSN 交换机 1 配置      |                    |         |
|-------------------|--------------------|---------|
| 转发表 forward_table |                    |         |
|                   | Flow_id            | Outport |
| 时间同步报文            | 4096               | 268     |
| 时间同步响应报文          | 0                  | 4       |
| 寄存器 register      |                    |         |
|                   | 名称                 | 数值      |
| 端口类型              | port_mode          | 0       |
| 时间槽               | time_slot          | 32      |
| 注入周期              | inject_slot_period | 4       |
| 调度机制              | qbv_or_qch         | 0       |
| 预留 ST 的 buf       | ST_buf_threshold   | 300     |
| TSN 交换机 2 配置      |                    |         |
| 转发表 forward_table |                    |         |
|                   | Flow_id            | Outport |
| 时间同步报文            | 4096               | 10      |
| 时间同步响应报文          | 0                  | 4       |
| 寄存器 register      |                    |         |
|                   | 名称                 | 数值      |
| 端口类型              | port_mode          | 0       |
| 时间槽               | time_slot          | 32      |
| 注入周期              | inject_slot_period | 4       |
| 调度机制              | qbv_or_qch         | 0       |
| 预留 ST 的 buf       | ST_buf_threshold   | 300     |
| TSN 网卡（3 个）配置     |                    |         |
| 寄存器 register      |                    |         |
|                   | 名称                 | 数值      |
| 端口类型              | port_mode          | 240     |
| 时间槽               | time_slot          | 32      |
| 注入周期              | inject_slot_period | 4       |
| 提交周期              | submit_slot_period | 4       |
| 预留 ST 的 buf       | ST_buf_threshold   | 300     |
| 注入 inject_table   |                    |         |

|                 | 时间槽           | 注入地址            |
|-----------------|---------------|-----------------|
| 1               | time_slot="0" | inject_addr="1" |
| 2               | time_slot="1" | inject_addr="2" |
| 3               | time_slot="2" | inject_addr="3" |
| 4               | time_slot="3" | inject_addr="0" |
| 提交 submit_table |               |                 |
|                 | 时间槽           | 注入地址            |
| 1               | time_slot="0" | submit_addr="1" |
| 2               | time_slot="1" | submit_addr="2" |
| 3               | time_slot="2" | submit_addr="3" |
| 4               | time_slot="3" | submit_addr="0" |

#### 4.1.3. 操作步骤

时间同步精度测试的具体操作步骤如下:

- 1) 搭建好组网拓扑环境，按照表 2-1 配置好终端设备；
- 2) 根据图 4-1 和表 4-1 配置好表项；
- 3) 在集中控制器终端的操作系统中，在 linux 界面利用命令“sudo su”获取权限，输入密码“123123”，再编辑命令进入到配置文件目录下，例如“cd/桌面/cnc\_ctrl/net\_init”，确认表项无误保存退出，然后在目录下运行命令“./init enp3s0”（**enp3s0** 是表示网络接口名称，不同的控制器接口名称不一致）进行网络配置，当查看到 config\_finish 时，表示网络配置成功；
- 4) 网络配置成功后，切到目录如“cd/桌面/cnc\_ctrl/cnc\_ptp”，运行命令“./cnc\_ptp enp3s0”；
- 5) 然后打开 TSN insight 界面展示软件，待时间同步运行稳定后即可在终端查看 offset 参数值的情况（同样可以使用示波器观察时间同步脉冲信号）。

#### 4.1.4. 测试结果

打印界面的 offset 值能够稳定在 0-6 之间变化，即在 50ns 的精



度范围内，符合预期。

## 4.2. 时间敏感流量的确定性传输测试

### 4.2.1. 预期结果

在 qbv 的调度机制下，利用 TSN 测试仪构造 3 条字节长度 64B、带宽 100Mbps 的流量，经过 TSN 网络转发后，在 TSN 测试仪接收端接收到的混合流量的时延波动小，并且流量不存在丢包。

### 4.2.2. 参数配置

时间敏感流量的确定性传输测试的关键表项配置在于转发表和门控表，交换机详细配置详见表 4-2。

表 4-2 混合流量测试配置表项

| TSN 交换机 1 配置      |         |         |
|-------------------|---------|---------|
| 转发表 forward_table |         |         |
|                   | Flow_id | Outport |
| 100M 的 ST 流量      | 11      | 2       |
| 100M 的 RC 流量      | 12      | 2       |
| 100M 的 BE 流量      | 13      | 2       |
| TSN 交换机 2 配置      |         |         |
| 转发表 forward_table |         |         |
|                   | Flow_id | Outport |
| 100M 的 ST 流量      | 11      | 2       |
| 100M 的 RC 流量      | 12      | 2       |
| 100M 的 BE 流量      | 13      | 2       |



```

</node>
<node imac="3"> <!-- TSN交换机1 -->
<gate_table id="0">
<entry time_slot="0" state="255"/> <!-- state
<entry time_slot="1" state="255"/>
<entry time_slot="2" state="255"/>
<entry time_slot="3" state="255"/>
</gate_table>

<gate_table id="1">
<entry time_slot="0" state="255"/>
<entry time_slot="1" state="255"/>
<entry time_slot="2" state="255"/>
<entry time_slot="3" state="255"/>
</gate_table>

<gate_table id="2">
<entry time_slot="0" state="255"/>
<entry time_slot="1" state="255"/>
<entry time_slot="2" state="255"/>
<entry time_slot="3" state="255"/>
</gate_table>

<gate_table id="3">
<entry time_slot="0" state="255"/>
<entry time_slot="1" state="255"/>
<entry time_slot="2" state="255"/>
<entry time_slot="3" state="255"/>
</gate_table>

```

图 4-2 TSN 交换机 1 门控表配置

```

<nodes>
<node imac="2"> <!-- TSN交换机2 -->
<gate_table id="0">
<entry time_slot="0" state="255"/> <!-- s
<entry time_slot="1" state="255"/>
<entry time_slot="2" state="255"/>
<entry time_slot="3" state="255"/>
</gate_table>

<gate_table id="1">
<entry time_slot="0" state="255"/>
<entry time_slot="1" state="255"/>
<entry time_slot="2" state="255"/>
<entry time_slot="3" state="255"/>
</gate_table>

<gate_table id="2">
<entry time_slot="0" state="255"/>
<entry time_slot="1" state="255"/>
<entry time_slot="2" state="255"/>
<entry time_slot="3" state="255"/>
</gate_table>

<gate_table id="3">
<entry time_slot="0" state="255"/>
<entry time_slot="1" state="255"/>
<entry time_slot="2" state="255"/>
<entry time_slot="3" state="255"/>
</gate_table>

```

图 4-3 TSN 交换机 2 门控表配置

### 4.2.3. 操作步骤

时间敏感流量的确定性传输测试的具体操作步骤如下:

- 1) 搭建好组网拓扑环境，按照表 1 配置好终端设备；
- 2) 根据图 4-2、图 4-3 和表 4-2 配置好表项；
- 3) 在集中控制器终端的操作系统中，在 linux 界面利用命令“sudo su”获取权限，输入密码“123123”，再编辑命令进入到配置文件目录下，例如“cd/桌面/cnc\_ctrl/net\_init”，确认 xml 文本表项无误保存退出，然后在目录下运行命令“./init enp3s0”（enp3s0 是表示网络接口名称，不同的控制器接口名称不一致）进行网络配置，当查看到 config\_finish 时，表示网络配置成功；
- 4) 网络配置成功后，在 TSN 测试仪控制器界面，直接配置并发送映射好的 3 条各 100M 的混合流量，点击开始测试；

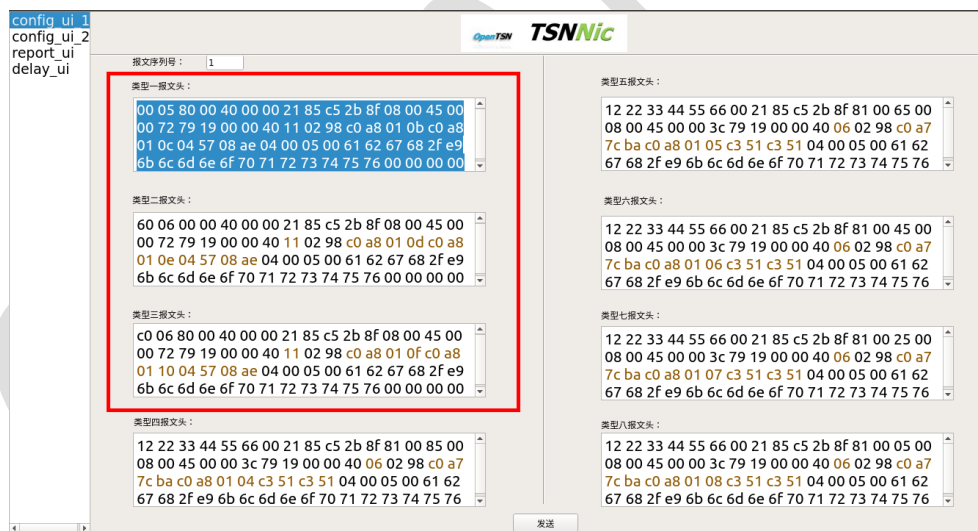


图 4-4 TSN 测试仪配置界面 1



图 4-5 TSN 测试仪配置界面 2

5) TSN 测试仪测试一段时间后，点击停止测试，即可在 NIC 测试仪控制器界面查看流量的时延抖动及丢包情况。

#### 4.2.4. 测试结果

经过网络传输，时延情况未见异常，流量的丢包个数为 0，测试结果符合预期。

### 4.3. 摄像头视频流量点到多点的传输测试

#### 4.3.1. 预期结果

摄像头采集的实时监控画面经过网络处理后，在摄像头视频接收端 1/2 可以实时并同时播放监控画面，并且画面应清晰、流畅。

#### 4.3.2. 参数配置

摄像头实时监控视频流量测试的表项配置在于视频流量的映射和重映射，交换机详细配置详见表 4-3，网卡映射表和重映射表配置见图 4-6、图 4-7。

表 4-3 摄像头实时监控视频流量测试配置表项

| TSN 交换机 1 配置      |         |         |
|-------------------|---------|---------|
| 转发表 forward_table |         |         |
|                   | Flow_id | Outport |
|                   | 8       | 1       |
|                   | 9       | 12（组播）  |
| TSN 交换机 2 配置      |         |         |
| 转发表 forward_table |         |         |
|                   | Flow_id | Outport |
|                   | 8       | 8       |
|                   | 9       | 2       |

```
<entry id="1">
  <flow_id>8</flow_id>
  <dmac>bc:ba:c2:f3:f7:08</dmac>  <!-- 摄像头的MAC地址-->
  <outport>8</outport>
</entry>
</remap_table>
```

图 4-6 TSN 网卡 3 配置

```
<remap_table>
  <entry id="0">
    <flow_id>9</flow_id>
    <dmac>c0:04:80:00:00:00</dmac>  <!-- 摄像头接收端的MAC地址-->
    <outport>8</outport>
  </entry>
```

图 4-7 TSN 网卡 1、TSN 网卡 2 配置

#### 4.3.3. 操作步骤

摄像头视频流量测试的具体操作步骤如下：

- 1) 搭建好组网拓扑环境，按照表 1 配置好终端设备；
- 2) 根据图 4-6、图 4-7 和表 4-3 配置好表项；
- 3) 在集中控制器终端的操作系统中，在 linux 界面利用命令“sudo su”获取权限，输入密码“123123”，再编辑命令进入到配置文件目录下，例如“cd/桌面/cnc\_ctrl/net\_init”，确认 xml 文本表项无误保存退出，然后在目录下运行命令“./init enp3s0”（enp3s0 是表示网络接口名称，不同的控制器接口名

称不一致) 进行网络配置, 当查看到 config\_finish 时, 表示网络配置成功;

- 4) 网络配置成功后, 切到目录 “cd/桌面/cnc\_ctrl/arp”, 运行命令 “./arp\_proxy enp3s0”, 启动 ARP 代理;
- 5) 启动摄像头, 在摄像头接收端 1/2 运行 “ivms-4200 客户端”, 将摄像头设备添加到客户端中, 点击播放监控画面, 如没有实时画面, 请刷新设备;
- 6) 当实时监控画面正常播放时, 运行一段时间, 观察视频画面是否清晰、流畅。

#### 4.3.4. 测试结果

摄像头实时监控视频流量经过网络处理, 摄像头接收端接收实时显示画面, 测试 60 分钟过程中, 摄像头接收端接收到的实时监控画面一直处于清晰、流畅状态, 符合预期。

#### 4.4. VLC 视频流量多点到点的传输测试

##### 4.4.1. 预期结果

通过 vlc 视频发送端 1/2 进行视频流量推流, 流量经过网络处理后, 在 vlc 视频接收端可以同步播放视频画面, 并且画面应清晰、流畅。

##### 4.4.2. 参数配置

VLC 视频流量测试的表项配置在于视频流量的映射及重映射, 交换机详细配置详见表 4-4, 网卡映射表和重映射表配置见图 4-8、图 4-9。

表 4-4 摄像头实时监控视频流量测试配置表项

| TSN 交换机 1 配置      |         |         |
|-------------------|---------|---------|
| 转发表 forward_table |         |         |
|                   | Flow_id | Outport |
|                   | 20      | 256     |
|                   | 21      | 1       |
|                   | 22      | 1       |
| TSN 交换机 2 配置      |         |         |
| 转发表 forward_table |         |         |
|                   | Flow_id | Outport |
|                   | 20      | 256     |
|                   | 21      | 8       |
|                   | 22      | 8       |

```
<entry id="0">
<flow_id>9</flow_id>
<dmac>c0:04:80:00:00:00</dmac> <!--摄像头接收端的DMAC-->
<outport>8</outport>
</entry>
```

图 4-8 TSN 网卡 3 配置

```
<entry id="3">
<flow_id>22</flow_id>
<dmac>e8:6a:64:c4:96:ff</dmac> <!--vlc接收端的DMAC-->
<outport>0</outport>
</entry>
<entry id="4">
<flow_id>4308</flow_id>
<dmac>e8:6a:64:c4:96:ff</dmac> <!--vlc接收端的DMAC-->
<outport>0</outport>
</entry>
```

图 4-9 TSN 网卡 1 、TSN 网卡 2 配置

#### 4.4.3. 操作步骤

Vlc 视频流量测试的具体操作步骤如下:

- 1) 搭建好组网拓扑环境, 按照表 1 配置好终端设备;
- 2) 根据图 4-8、图 4-9 和表 4-4 配置好表项;

- 3) 在集中控制器终端的操作系统中，在 linux 界面利用命令“`sudo su`”获取权限，输入密码“123123”，再编辑命令进入到配置文件目录下，例如“`cd/桌面/cnc_ctrl/net_init`”，确认 xml 文本表项无误保存退出，然后在目录下运行命令“`./init enp3s0`”（**enp3s0** 是表示网络接口名称，不同的控制器接口名称不一致）进行网络配置，当查看到 `config_finish` 时，表示网络配置成功；
- 4) 网络配置成功后，切到目录“`cd/桌面/cnc_ctrl/arp`”，运行命令“`./arp_proxy enp3s0`”，启动 ARP 代理；
- 5) 在 vlc 视频发送端 1/2 运行 vlc 软件，打开相应视频，选择串流模式进行推流；
- 6) 在 vlc 视频接收端，打开 VLC 软件，进行相应配置后同时播放两个发送端发送的视频；
- 7) 当视频画面正常播放时，运行一段时间，观察视频画面是否清晰、流畅。

#### 4.4.4. 测试结果

vlc 视频流量经发送端 1、2 推出后，经过网络处理，在 vlc 流量接收端接收 vlc 视频流量，测试 60 分钟过程中，接收端接收到的视频画面一直处于清晰、流畅状态，较发送端视频播放有些许延时，符合预期。

## 附录 A：软件运行环境搭建

软件需要使用 Linux 设备运行（建议使用 Ubuntu16.04LTS），并且需要安装 libnet、libpcap 以及 libxml 库。

本文提供两种方式供用户选择

方式一：使用 OpenTSN 提供的虚拟机运行集中控制器。

为了方便用户能够尽快搭建运行环境，减少因为搭建环境花费的时间，在百度网盘中提供已配置的虚拟机，下面具体介绍搭建虚拟机的步骤。

（1）下载百度网盘中的文件

从百度网盘中下载全部文件。

（2）安装 VirtualBox-5.2.14-123301-Win

首选需要安装 VirtualBox 软件，安装后可以在该软件下导入需要安装的虚拟机。

（3）导入虚拟机

在 VirtualBox 中导入下载的虚拟机，首先在界面中点击“管理”，在管理中选择“导入虚拟电脑”，然后选择需要导入的文件（从百度网盘中下载的文件），然后选择“导入”。导入大约需要花费 5 分钟左右。



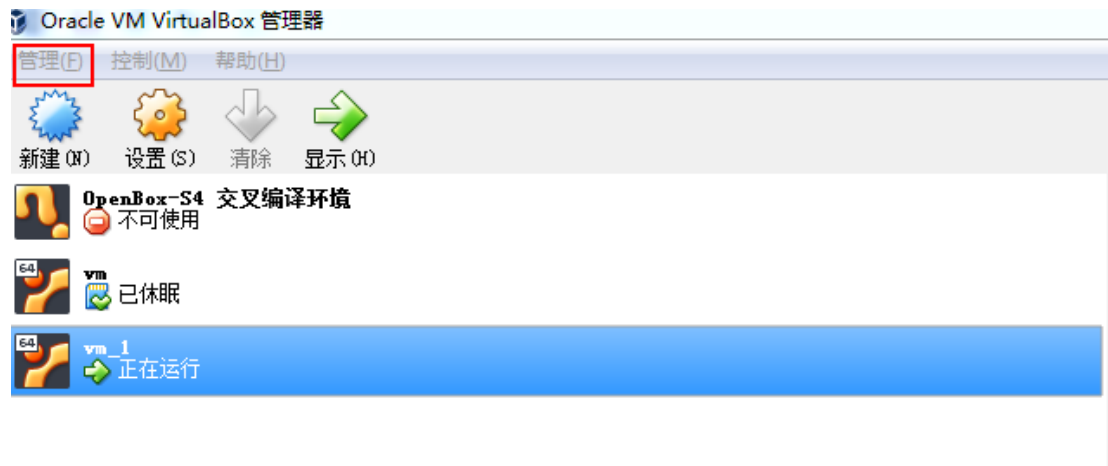


图 A-1 管理选项

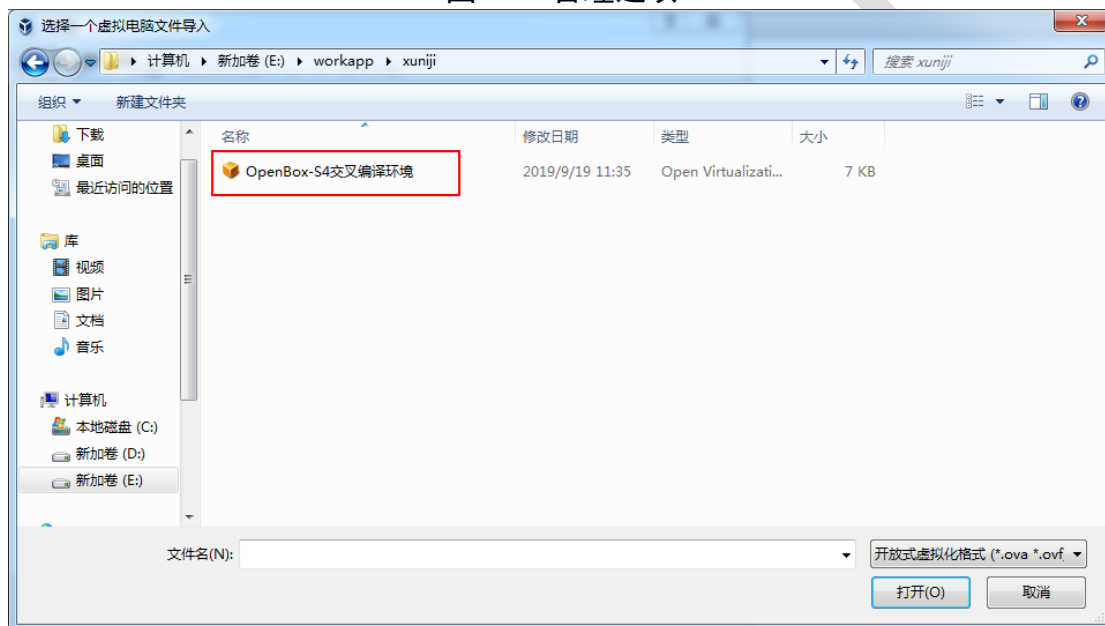


图 A-2 需要导入的文件

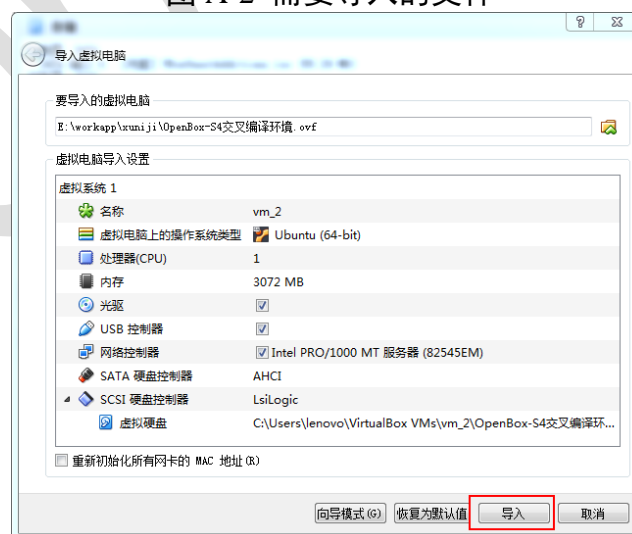


图 A-3 确认导入

#### (4) 虚拟机设置

导入成功后,需要对虚拟机进行设置。在 vbox 界面,点击“设置”,依次对存储、网络、共享文件夹进行设置。



图 A-4 虚拟机设置

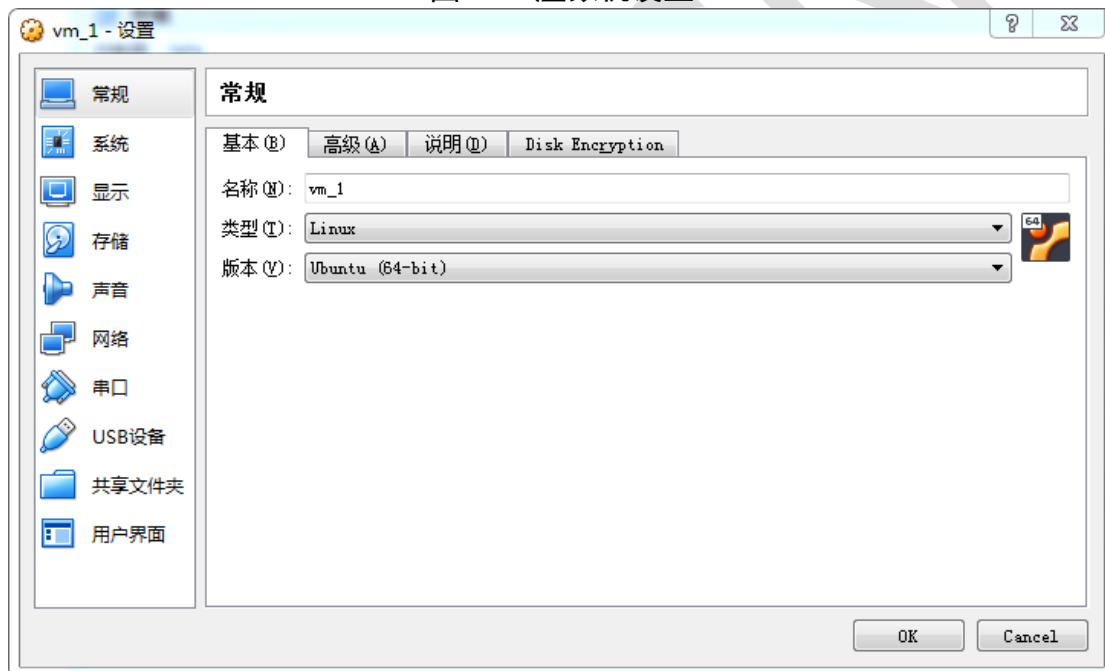


图 A-5 设置内容

设置存储,添加虚拟硬盘,依次按照红色方框进行选择。

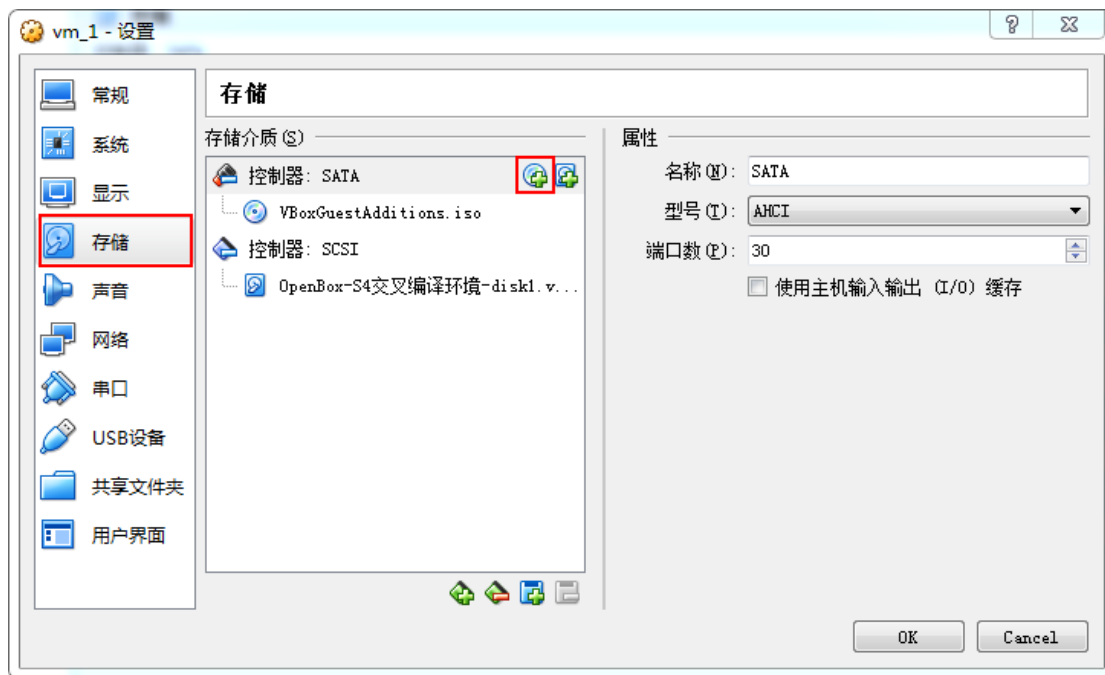


图 A-6 存储设置

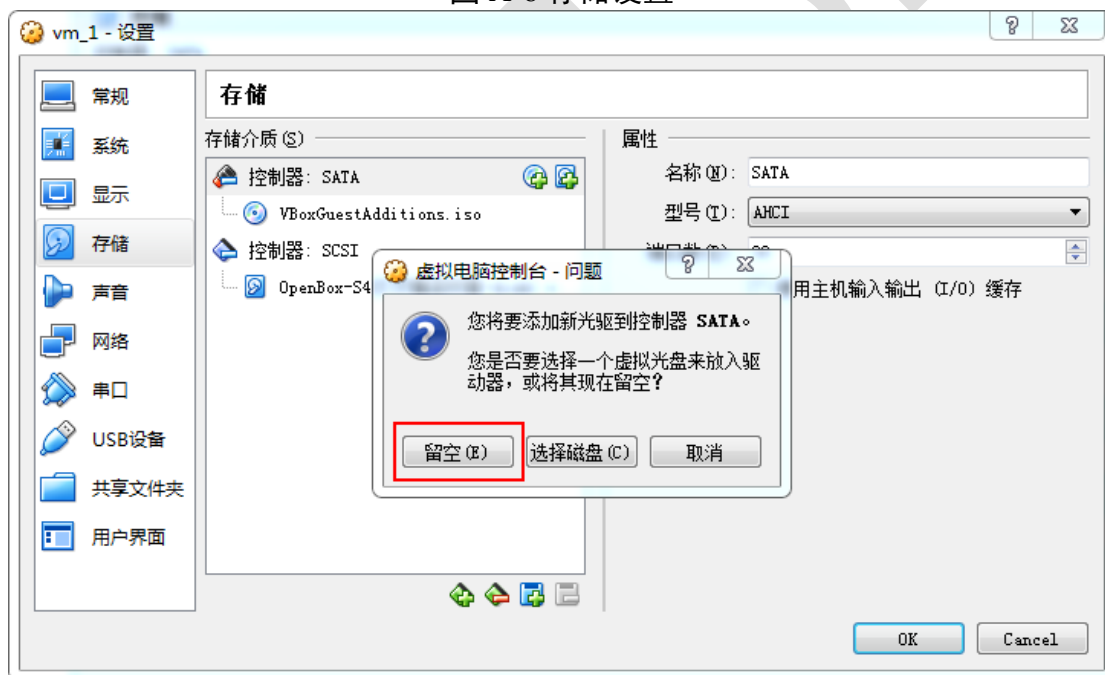


图 A-7 选择留空

设置网络，需要设置混杂模式，以便能够捕获到所有报文。



图 A-8 网卡设置

设置共享文件夹，用于 Windows 主机与虚拟机共享文件。

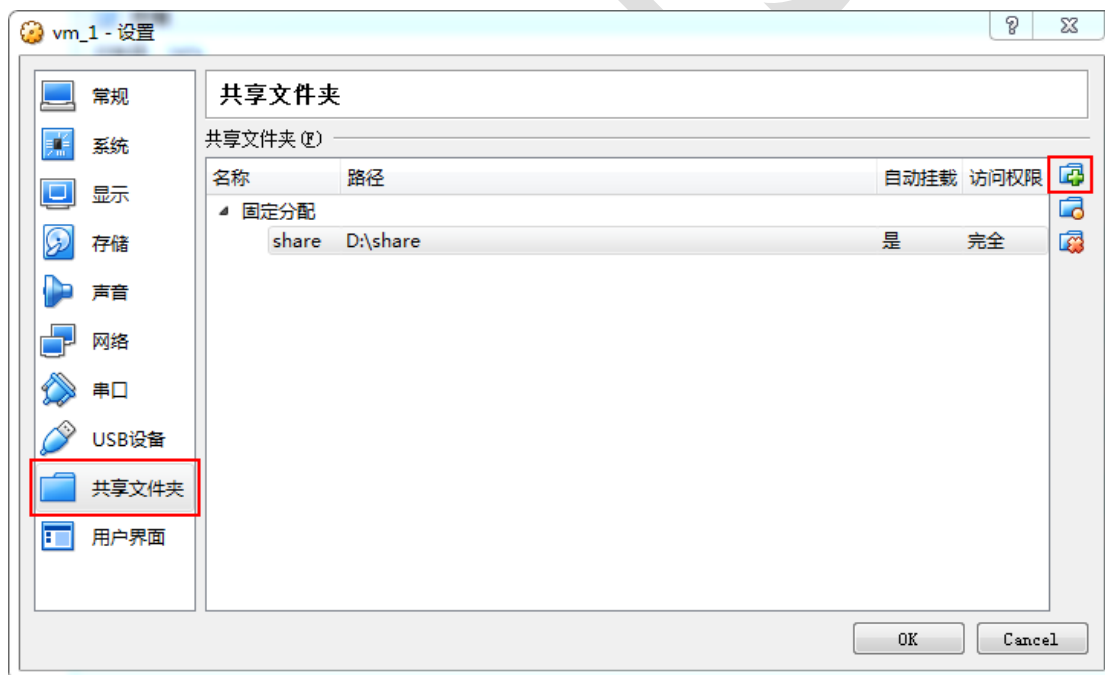


图 A-9 共享文件夹设置

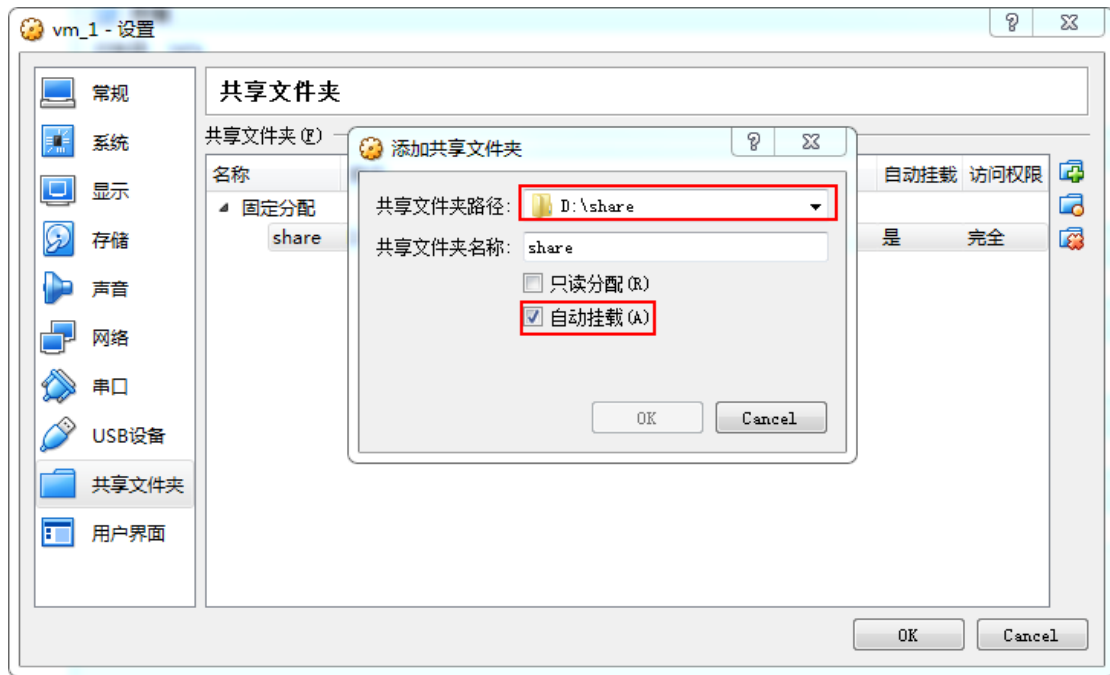


图 A-10 共享文件夹选项

#### (5) 进入虚拟机

然后打开虚拟机，打开时选择“无界面启动”，如正常启动电脑一样，启动后需要输入密码进入系统，密码为“970904”



图 A-11 无界面启动

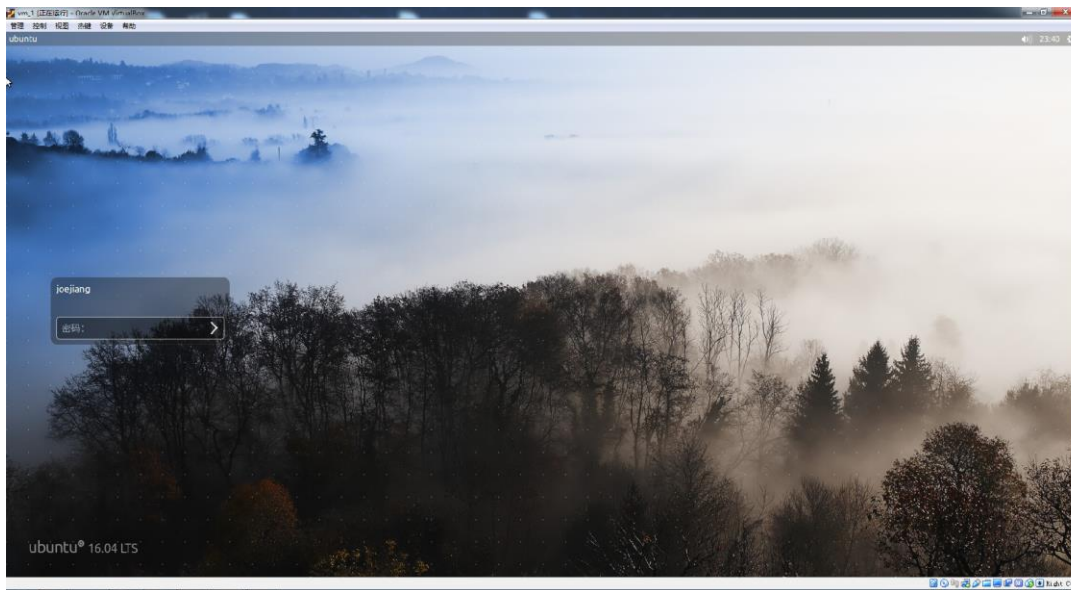


图 A-12 虚拟机启动画面

在进入系统后安装增强功能，在选择设备后，点击“安装增强功能”，然后一直“enter”键进行下一步，直至安装成功。

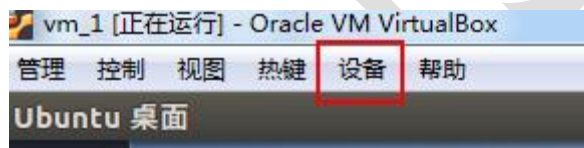


图 A-13 安装增强功能

#### (6) 设置共享文件夹

输入“sudo su”进入 root 权限，输入密码“970904”

输入“mount -t vboxsf share /mnt/hgfs”其中 share 为共享文件夹的名称，然后 Windows 主机与虚拟机共享 share 文件夹

输入“cd /mnt/hgfs”进入共享文件夹。

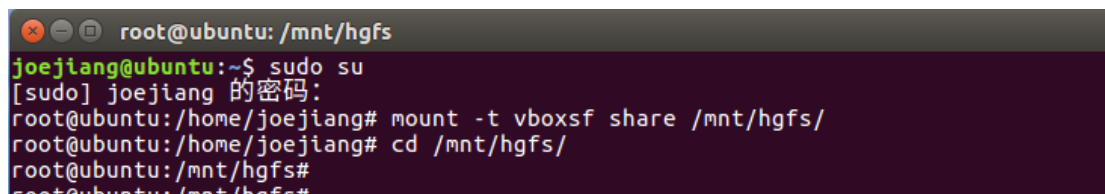


图 A-14 虚拟机共享文件夹设置

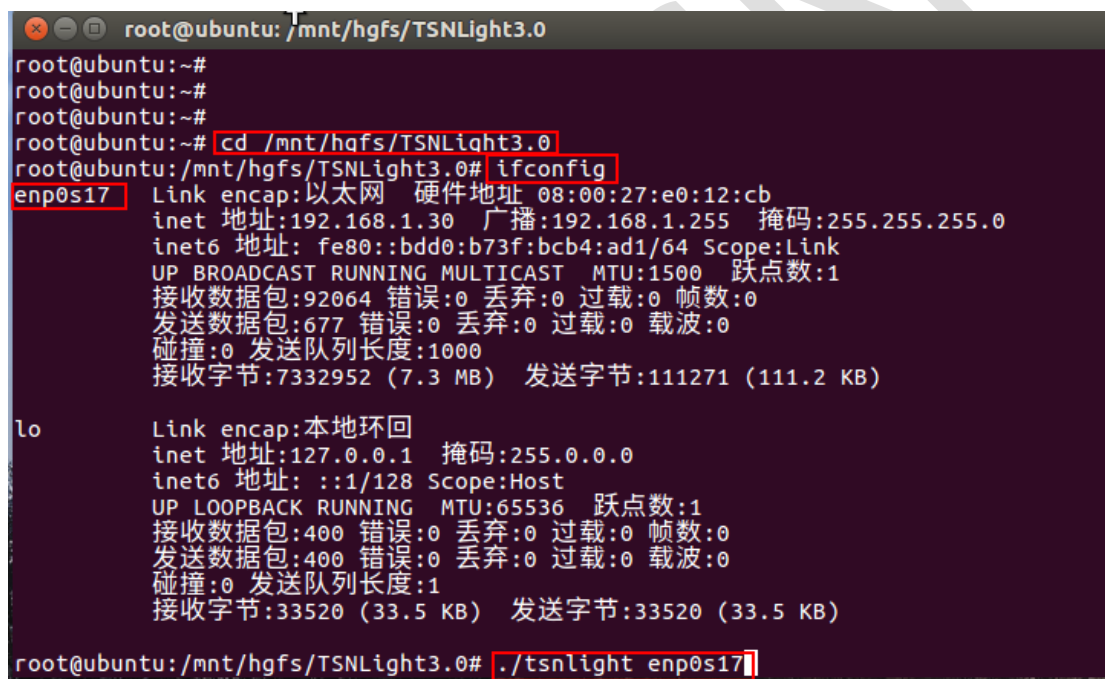
#### (7) 运行应用程序

把需要在虚拟机运行的应用拷贝到 Windows 主机中的 share 文件夹下，在虚拟机运行相应的应用程序。以运行 TSNLight3.0 为例介绍运行顺序。

首先输入“cd /mnt/hgfs/TSNLight3.0”进入集中控制器 TSNLight3.0 应用下；

然后输入“ifconfig”查看网卡名称，网卡名称为 enp0s17；

最后输入“./tsnlight enp0s17”执行集中控制器程序。



```
root@ubuntu: /mnt/hgfs/TSNLight3.0
root@ubuntu:~#
root@ubuntu:~#
root@ubuntu:~# cd /mnt/hgfs/TSNLight3.0
root@ubuntu:/mnt/hgfs/TSNLight3.0# ifconfig
enp0s17  Link encap:以太网 硬件地址 08:00:27:e0:12:cb
        inet 地址:192.168.1.30 广播:192.168.1.255 掩码:255.255.255.0
        inet6 地址: fe80::bdd0:b73f:bc4:ad1/64 Scope:Link
        UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  跃点数:1
        接收数据包:92064 错误:0 丢弃:0 过载:0 帧数:0
        发送数据包:677 错误:0 丢弃:0 过载:0 载波:0
        碰撞:0 发送队列长度:1000
        接收字节:7332952 (7.3 MB)  发送字节:111271 (111.2 KB)

lo       Link encap:本地环回
        inet 地址:127.0.0.1 掩码:255.0.0.0
        inet6 地址: ::1/128 Scope:Host
        UP LOOPBACK RUNNING  MTU:65536  跃点数:1
        接收数据包:400 错误:0 丢弃:0 过载:0 帧数:0
        发送数据包:400 错误:0 丢弃:0 过载:0 载波:0
        碰撞:0 发送队列长度:1
        接收字节:33520 (33.5 KB)  发送字节:33520 (33.5 KB)

root@ubuntu:/mnt/hgfs/TSNLight3.0# ./tsnlight enp0s17
```

图 A-15 集中控制器 TSNLight 运行示例

方式二：在本地的虚拟机或者 Linux 设备中运行集中控制器。

该方式不需要重新安装虚拟机，但需要在已有的虚拟机或者 Linux 设备安装软件运行时需要的库，分别为 libpcap、libnet 以及 libxml2。安装后需要设置网卡为混杂模式，以便 libpcap 能够捕获到所有报文。

注意事项：

- (1) 在运行软件时需要使用 root 权限；
- (2) 如果没有可执行文件没有权限，以 `tsnlight` 为例，需要赋予 `tsnlight` 可执行权限，输入“`chmod 777 tsnlight`”。

OpenTSN